

# APLICAÇÃO DE VÁRIOS TIPOS DE FLUXO ATIVO (PROCESSO A-TIG) NA SOLDAGEM DE UM AÇO INOXIDÁVEL FERRÍTICO

**Alessandra Gois Luciano de Azevedo**

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Uberlândia, MG.

[aglazevedo@mecanica.ufu.br](mailto:aglazevedo@mecanica.ufu.br)

**Paulo Sérgio de Sairre Bálamo**

Pesquisador e Gerência do Centro de Pesquisa da Acesita S/A

[pbalsamo@acesita.com.br](mailto:pbalsamo@acesita.com.br)

**Jesualdo Pereira Farias**

Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Fortaleza CE, e-mail: [jpf@secrel.com.br](mailto:jpf@secrel.com.br)

**Valtair Antonio Ferraresi**

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Uberlândia, MG.

[valtairf@mecanica.ufu.br](mailto:valtairf@mecanica.ufu.br)

**Resumo:** O processo de soldagem TIG com fluxo (processo A-TIG) apresenta como principal vantagem a possibilidade de se obter uma maior penetração do cordão de solda empregando os mesmos parâmetros de soldagem do processo TIG convencional. Diversos estudos mostram a influência dos fluxos ativos sobre as características geométricas das soldas em aços inoxidáveis austeníticos, porém pouco se sabe sobre a influência deste processo nas características geométricas e metalúrgicas de cordões de solda em aços inoxidáveis ferríticos. Neste trabalho são aplicados diferentes tipos de fluxos na soldagem de aço inoxidável ferrítico com o objetivo de verificar possíveis influências no perfil do cordão de solda, no seu aspecto visual, na microestrutura e também na dureza da zona fundida. As soldagens “bead on plate” foram realizadas sem metal de adição. Foram utilizados seis tipos de fluxos, sendo um óxido elaborado em laboratório ( $TiO_2$ ) e cinco fluxos comerciais. Os resultados mostraram que a utilização do fluxo permite um aumento na penetração com mudanças significativas no aspecto do cordão de solda. Verificou-se ainda que a microestrutura e a dureza do cordão de solda do aço estudado não foram afetadas pelo tipo de fluxo utilizado.

**Palavras-chave:** processo A-TIG, fluxos ativo, zona fundida, microestrutura.

**Abstract:** The A-TIG welding process presents as main advantage the possibility of increasing the penetration depth comparatively to the conventional TIG welding one. Many researchers show the influence of the active flux on the weld geometry in austenitic stainless steel. However, too little is known about the influence of this process on the shape and metallurgic characteristics of the weld bead in ferritic stainless steel. In this work, different types of fluxes are applied with the objective to verify their possible influences on the weld bead in ferritic stainless steel welding, such as on visual aspect, microstructure and also hardness of the fusion zone. Bead-on-plate welds were made without metal filler. Six types of fluxes had been used; one flux laboratory prepared ( $TiO_2$ ) and the others commercial ones. The results indicate that the use of the fluxes allows increase in the penetration with significant changes in the aspect of the weld bead. It was verified that the microstructure and the hardness of the weld bead of this ferritic stainless steel has not been affected by the flux type.

**Key words:** welding A-TIG, active flux, weld bead, microstructure.

## 1. INTRODUÇÃO

Com o objetivo de aumentar a produtividade da soldagem pelo processo TIG o “*Paton Welding Institute*” apresentou na primeira metade dos anos 60 a técnica chamada de A-TIG (soldagem TIG com fluxo ativo), que consiste em se depositar uma fina camada de um fluxo com solvente (acetona ou álcool) sobre a superfície da peça antes da soldagem. A deposição da camada é feita através de um pincel, ou por “spray”, após a secagem é realizada a soldagem. Durante a soldagem o calor do arco funde e vaporiza a camada de fluxo produzindo alterações na poça de fusão e no arco elétrico, podendo produzir um aumento na penetração. Resultados experimentais da época demonstraram que a produtividade do processo A-TIG poderia ser aumentada em até 3 vezes em relação ao processo TIG convencional (MARYA, 2002 e PASKELL, et al., 1997).

Na soldagem com fluxo ativo, recomenda-se que a camada apresente uma espessura uniforme para assegurar a repetibilidade dos resultados, além de uma boa aderência ao material de base para suportar a força do arco durante a soldagem (MARYA, 2002). A principal desvantagem desta técnica reside principalmente na propensão à formação de escória sobre a superfície da solda, podendo também acarretar uma piora no seu acabamento superficial. No caso da soldagem em vários passes, a escória formada deve ser adequadamente retirada para evitar a possibilidade da ocorrência de inclusões em passes subseqüentes. Não se pode também desconsiderar a possibilidade de contaminação ou fragilização do metal de solda em função das interações entre o fluxo e o metal fundido (PASKELL, et al., 1997).

Muitos mecanismos foram propostos para explicar o aumento da penetração na soldagem A-TIG. A maioria dos pesquisadores (PERRY et al. 1998; MIDDEL and OUDEN, 1998 e FAN et al. 2001) acredita que isto ocorre devido ao fato de que as moléculas do fluxo dissociadas pelo intenso calor gerado são capazes de capturar elétrons nas regiões periféricas do arco (mais frias), formando ali íons negativos. A captura de elétrons por parte destes elementos reduz a densidade periférica de elétrons livres no arco e, desta forma, o principal canal condutor de eletricidade é reduzido, resultando em um efeito de constrição (redução do diâmetro da coluna do arco). Ao mesmo tempo, este efeito de constrição induz um aumento na temperatura e na pressão do arco, permitindo aumentar significativamente a profundidade de penetração da solda.

Um outro mecanismo sugerido para o aumento da penetração na soldagem com fluxo ativo está relacionado com modificações na microquímica da poça de fusão pela adição de elementos do fluxo, causando uma inversão no gradiente de tensão superficial, gerando um fluxo de convecção (também chamado de fluxo de Morangoni) no sentido inverso ao que ocorre normalmente na soldagem TIG. O fluxo de convecção gerado agora flui das extremidades para o centro da poça, causando uma redução na largura e um aumento na penetração da solda (PERRY et al., 1998).

A maior dificuldade desta técnica está na seleção de um fluxo para uma determinada aplicação (material), isto recai principalmente sobre a não divulgação da sua composição química, a qual normalmente é considerada como um segredo industrial. A falta de informações técnicas também pode contribuir para um aumento desta dificuldade, por exemplo, na obtenção de dados qualitativos ou quantitativos a respeito do efeito dos fluxos sobre a composição química da solda, ou sobre suas propriedades mecânicas (LUCAS and HOWSE 1996). Entretanto, PERRY et al. (1998) citam que diferentes revestimentos a base de óxidos, sais alcalinos, halogênios, ou fluoretos têm sido reportados no passado como apresentando um efeito favorável sobre a penetração da solda. Por exemplo, um revestimento a base de óxidos de ferro, cromo, silício, titânio, manganês, níquel, cobalto, molibdênio e cálcio (misturados ou não) têm sido usados para melhorar a soldabilidade e aumentar a velocidade de soldagem em aços inoxidáveis. Evidentemente, a composição do fluxo também pode ser acertada para melhorar as propriedades mecânicas do metal de solda em relação às soldas convencionais através da adição de elementos de liga.

RICHETTI e FERRARESI (2005) aplicaram o fluxo ativo de tal forma a soldas com bom acabamento superficial, reduzindo a quantidade de escória formada. Ao invés de uma camada que cobre toda a superfície da chapa, foram feitas duas faixas de fluxo, separadas por uma distância predeterminada. Esta técnica é chamada de Técnica da Constrição Direcionada (TCD).

Desta forma, o objetivo deste trabalho é analisar a influência do uso da técnica da camada de fluxo ativo na soldagem TIG de um aço inoxidável ferrítico, com a possibilidade de utilizá-la como ferramenta para o aumento da produtividade destes processos.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O aço utilizado para o experimento foi o aço inoxidável ferrítico (DIN 1.4003), sob a forma de chapa com 6,35 mm de espessura, cuja composição química é apresentada na Tabela 1. As dimensões dos corpos de prova foram: 250 x 30 x 6,35 mm.

Tabela 1. Composição química fornecida pelo fabricante do aço inoxidável ferrítico.

Elementos	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	O
% em peso	0.015	0.59	0.47	11.02	0.35	0.021	0.001	24 ppm
Elementos	Mo	V	Al	Co	Nb	Ti	Cu	N
% em peso	0.017	0.025	0.002	0.02	0.015	0.011	0.024	144 ppm

Foram empregados seis tipos de fluxo ativo, designados da seguinte maneira: fluxo A – óxido de titânio; fluxo B (fluxo comercial americano) e fluxos C, D, E e F (fluxos comerciais europeus). O óxido de titânio foi utilizado por ser citado na literatura como adequado para emprego como fluxo ativo. As composições dos fluxos comerciais não foram fornecidas pelos fabricantes. Os fluxos foram misturados com acetona e aplicados na superfície a ser soldada com ajuda de um pincel, com exceção do fluxo C por ser “spray”.

Os fluxos foram aplicados somente na metade de cada chapa, obtendo-se desta forma, uma parte do cordão de solda com o processo TIG convencional e uma parte com a aplicação da técnica A-TIG. Em todos os ensaios, as soldagens foram realizadas de forma mecanizada empregando intensidade de corrente de 200 A e velocidade de soldagem de 3,5 mm/s. Foi utilizado eletrodo de tungstênio AWS EWTh-2 com diâmetro de 3,2 mm e ângulo de apontamento de 60°. A distância da ponta do eletrodo a peça foi de 2,0 mm. Como gás de proteção utilizou-se argônio com uma vazão de 14 l/min. Estes parâmetros foram obtidos a partir de testes preliminares.

Em cada amostra soldada, foram realizadas inspeções visuais e medidas geométricas do cordão de solda. Na zona fundida, foram realizados ensaios de dureza com aplicação de uma carga de 100 gramas e análise da microestrutura.

Para melhorar o aspecto do cordão de solda e minimizar a quantidade de escória formada na superfície foi realizada soldagem com as mesmas condições acima com a técnica TCD.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1. Aspecto dos Cordões de Solda

A Figura 1 apresenta o aspecto superficial dos cordões de solda. Do lado direito de cada corpo de prova encontra-se o cordão sem fluxo, ou seja, soldagem TIG convencional e do lado esquerdo está a continuidade do cordão obtido com os diferentes tipos de fluxos.

Observando os cordões com a aplicação do fluxo (Figura 1) é possível perceber que todos os cordões empregando fluxo ativo apresentaram aspecto oxidado (escória), porém, os fluxos B, D e E apresentaram cordões mais lisos, uniformes e com aspecto menos oxidado do que os A, C e F, que além disso, apresentaram também irregularidades nos cordões e mordeduras. O fluxo C foi o que apresentou uma maior redução na largura do cordão de solda, porém, foi considerado o de pior aspecto superficial.

### 3.2. Perfil dos Cordões de Solda

Foi realizado um corte na seção transversal dos corpos de prova para a avaliação das características geométricas do cordão de solda. Foram medidas a largura, a penetração e a área da zona fundida de apenas uma seção do corpo de prova de cada tipo de fluxo utilizado. Os resultados

obtidos encontram-se na A Tabela 2. Verifica-se que o fluxo C foi o que apresentou maior penetração, menor largura e maior área fundida. Os fluxos A (TiO<sub>2</sub>), D e E não apresentaram ganhos em termos de penetração comparando-se com a soldagem sem fluxo, apesar de mudanças ocorridas na largura do cordão.



Figura 1. Aspecto visual dos cordões de solda. a) fluxo A ; b) fluxo B; c) fluxo C; d) fluxo D; e) fluxo E; f) fluxo F.

Com base em dados da literatura, principalmente para aços inoxidáveis austeníticos, esperavam-se maiores valores de penetração para a soldagem do aço inoxidável ferrítico com fluxo. Um dos problemas que pode ter contribuído para este comportamento, apesar dos cuidados tomados no momento da aplicação, está relacionado à homogeneidade da camada de fluxo, já que nestes testes não foram realizadas medidas de verificação.

Tabela 2. Medidas geométricas.

Corpo de prova	Penetração (mm)	Largura (mm)	Área Fundida (mm <sup>2</sup> )
Sem fluxo	3,1	12,1	23,3
Fluxo A	3,1	9,4	19,3
Fluxo B	4,3	8,5	22,2
Fluxo C	4,7	7,7	28,8
Fluxo D	3,1	9,1	21,2
Fluxo E	2,8	10,3	21,0
Fluxo F	4,5	8,1	23,2

As Figuras 2 e 3 mostram a seção transversal dos cordões de solda obtidos da soldagem dos corpos de prova realizados sem e com adição de fluxo, respectivamente. Comparando as Figuras 2 e 3 é possível ter uma visão global do perfil do cordão de solda com a aplicação de cada tipo de fluxo.

### 3.3. Medidas de Microdureza na Zona Fundida

Foram realizadas 10 medidas de microdureza Vickers na região central da zona fundida de cada cordão de solda. Os resultados estão descritos na Tabela 2.



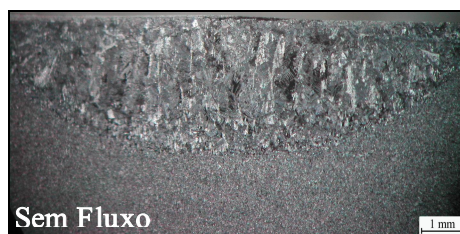


Figura 2. Perfil do cordão de solda do corpo de prova sem fluxo ativo.

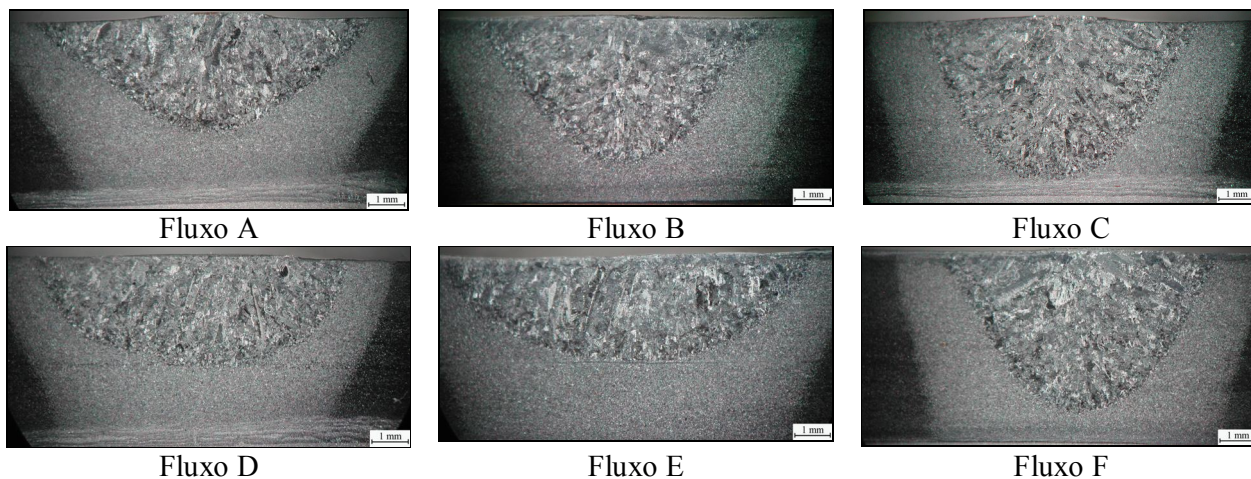


Figura 3. Perfis dos cordões de solda empregando os diferentes tipos de fluxo da Tabela 2.

Tabela 2. Microdureza da zona fundida (HV<sub>0,1</sub>)

Medidas	Sem fluxo.	Fluxo A	Fluxo B	Fluxo C	Fluxo D	Fluxo E	Fluxo F
1	291	334	314	317	304	375	330
2	319	324	281	239	288	288	298
3	327	319	337	178	281	363	320
4	288	354	295	319	300	296	312
5	302	339	311	275	291	268	288
6	273	367	313	313	287	343	175
7	339	334	334	272	308	334	298
8	318	352	249	246	279	328	330
9	307	320	191	323	279	325	322
10	271	324	320	260	307	297	279
<b>Média</b>	<b>303,5</b>	<b>336,7</b>	<b>294,5</b>	<b>274,2</b>	<b>292,4</b>	<b>321,7</b>	<b>295,2</b>
<b>Desvio</b>	<b>22,75</b>	<b>16,28</b>	<b>44,69</b>	<b>46,21</b>	<b>11,49</b>	<b>34,14</b>	<b>45,73</b>

A Figura 4 apresenta os resultados na forma de gráfico, onde é possível verificar que a dureza da zona fundida ficou dentro de uma faixa entre 274,2 HV a 336,7 HV. Valores estes bem acima da dureza do metal de base. A dureza média do material como recebido foi de 140 HV e tamanho de grãos médio ASTM 10.

Com os resultados apresentados na Figura 4 é possível citar que a aplicação da soldagem A-TIG com vários tipos de fluxos não apresentou influência significativa na zona fundida para as condições de ensaios utilizados. Apesar de serem observadas pequenas variações nas medidas de durezas, estas podem ser explicadas pela heterogeneidade presente na zona fundida, isto é, diferentes microestruturas desta zona.

### 3.4. Metalografia da Zona Fundida

Com a composição química do aço fornecida pelo fabricante é possível através do Diagrama de Schaeffler prever a microestrutura da zona fundida (MODENESI, 2001). Para isso, os equivalentes

de cromo e níquel e devem ser calculados, através das equações:  $Cr_{eq.} = \%Cr + \%Mo + 1,5\%Si + 0,5\%Nb$  e  $Ni_{eq.} = \%Ni + 30\%C + 0,5\%Mn$ . Com isso, os valores obtidos são:  $Cr_{eq.} = 11,72$  e  $Ni_{eq.} = 1,095$ . Com esses dados e com o diagrama de Schaeffler verifica-se que o aço fica no limite entre uma estrutura 100% ferrítica e o início de formação da martensita.

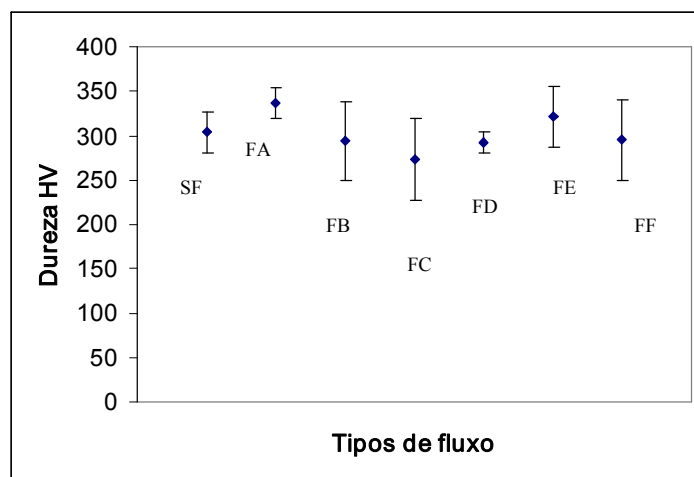


Figura 4. Variação da dureza com o tipo de fluxo do processo A-TIG (SF – Sem Fluxo, FA – Fluxo A, FB – Fluxo B, FC – Fluxo C, FD – fluxo D, FE – Fluxo E e FF – Fluxo F).

BALMFORT e LIPPOLD (2000) propuseram um diagrama específico para a região de ferrita e martensita, sendo particularmente útil para avaliar a microestrutura da zona fundida de aços inoxidáveis ferríticos e martensíticos. As fórmulas empíricas para esta análise são:  $Cr_{eq.} = \%Cr + 2\%Mo + 10 (\%Al + \%Ti)$  e  $Ni_{eq.} = \%Ni + 35\%C + 20\%N$ . Com esta formulação os valores obtidos são:  $Cr_{eq.} = 11,346$  e  $Ni_{eq.} = 0,875$ . Com esses dados e o diagrama apresentado pelos autores acima se chega que a quantidade de ferrita na zona fundida do aço (processo TIG autógena) é de aproximadamente 30% e com o restante de 70% de martensita.

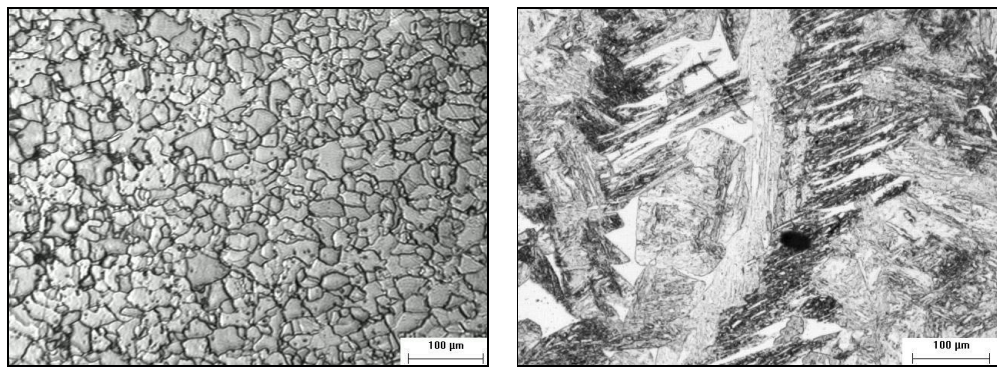
A Figura 5(a) mostra a microestrutura do material como recebido e a Figura 5(b) mostra a microestrutura da zona fundida soldada sem a presença de fluxo. A Figura 6 mostra as microestruturas da zona fundida com a presença de fluxos durante a soldagem. Analisando visualmente as microestruturas formadas (martensita e ferrita) é possível, em uma primeira aproximação, afirmar que a quantidade de ferrita observada fica em torno de 30%.

### 3.5. Técnica da Constrição Direcionada (TCD)

Para poder tirar proveito da técnica A-TIG, RICHETTI e FERRARESI (2005) propuseram uma forma de aplicação desta camada de fluxo com o objetivo de obter cordões de solda com bom acabamento superficial e redução da quantidade de escória formada. Esta forma de aplicação do fluxo foi chamada de Técnica de Constrição Direcionada (TCD), onde o fluxo é aplicado na junta em duas faixas separadas por uma distância predeterminada do centro da junta, chamada de parâmetro "a". Este procedimento é ilustrado esquematicamente na Figura 7. As condições de soldagem foram realizadas em uma junta com o parâmetro "a" de 6,0 mm e com os mesmos parâmetros dos testes realizados acima. Para a realização destes testes foram utilizados apenas os fluxos A, B e C.

Para estes testes a penetração do cordão de solda com a aplicação do Fluxo A foi de 3,65 mm; com o Fluxo B foi de 4,27 mm e com o Fluxo C foi de 4,06 mm. Comparando estes valores com os mesmos tipos de fluxo da Tabela 2 verifica-se que ocorreu uma pequena variação na penetração. Isto demonstra que esta técnica não influencia de forma significativa a penetração do cordão de solda. Resultados semelhantes foram também obtidos por RICHETTI e FERRARESI (2005).

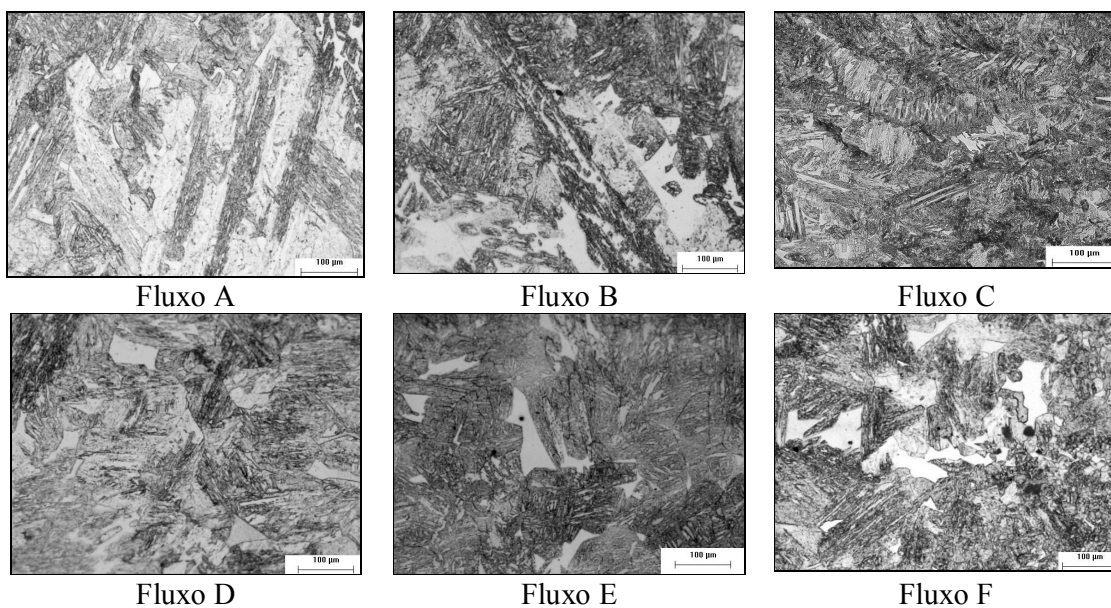




(a) – metal de base

(b) Zona Fundida

Figura 5. Microestrutura do metal de base e da zona fundida



Fluxo A

Fluxo B

Fluxo C

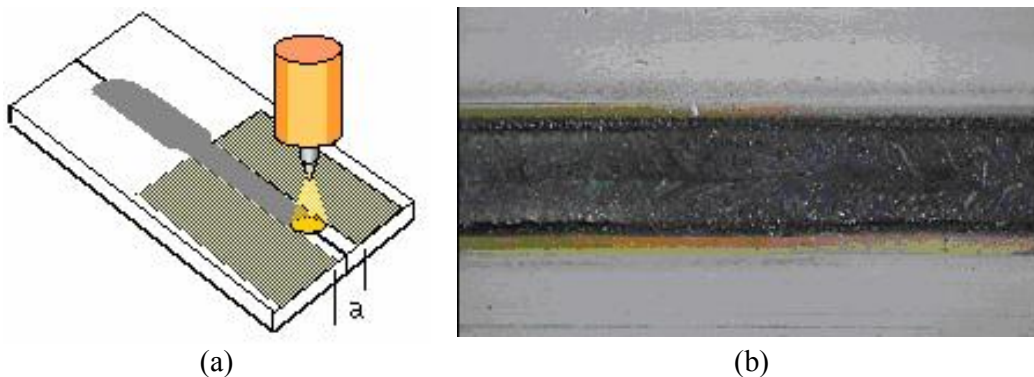
Fluxo D

Fluxo E

Fluxo F

Figura 6. Microestruturas dos cordões de solda na zona fundida de cada corpo de prova.

A Figura 7(b) mostra o aspecto do cordão para o fluxo A utilizando a técnica de constrição direcionada. É possível verificar que existe uma melhoria no aspecto do cordão e um menor nível de escória formada, comparada com a Figura 1(a). O mesmo fenômeno foi observado para os outros fluxos utilizados.



(a)

(b)

Figura 7. (a) Procedimento proposto para aplicação da camada de fluxo ativo; (b) Aspecto do cordão de solda com a técnica TCD para o Fluxo A.

#### 4. CONCLUSÕES

Pelos resultados obtidos neste trabalho verificou-se que a adição de fluxo, comercial ou não, interfere na geometria do cordão, sendo possível obter cordões de maiores penetrações e estreitos.

Os fluxos B, C e F foram os que apresentaram melhores resultados em termo de aumento da penetração do cordão de solda.

Quanto ao aspecto do cordão de solda os fluxos B, D e E apresentaram melhores resultados com uma menor quantidade de escória formada.

Levando em conta a maior penetração e melhor aspecto de cordão de solda o fluxo B foi o melhor.

A técnica de constrição direcionada mantém a penetração observada para o A-TIG convencional, melhora o aspecto do cordão de solda e reduz a quantidade de escória formada.

A microestrutura do cordão de solda, aparentemente, não foi influenciada pela adição ou tipo de fluxo. Em todos os casos a microestrutura formada foi martensita e ferrita.

A dureza da zona fundida não foi influenciada pela adição de fluxo ativo. Entretanto, os valores obtidos ficaram bem acima do metal de base.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem o LAPROSOLDA/UFU e LABSOLDA/UFC pelo apoio laboratorial, a ACESITA pelo apoio financeiro e ao CNPq pela bolsa de pesquisa.

#### 6. REFERÊNCIAS

- BALMFORTH, M. C., LIPPOLD, J. C., A new ferritic-martensitic stainless constitution diagram”. Welding Journal, n. (79) 12, p. 339s-345s. 2000.
- FAN, D., ZHANG, R., GU, Y. & USHIO, M. Effect of Flux on A-TIG Welding of Mild Steels. Transactions of JWRI (Joining and Welding Research Institute), v.30, n.1, p.35-40, 2001.
- LUCAS, W. and HOWSE, D. Activating Flux – Increasing the Performance and Productivity of the TIG and Plasma Processes. Welding & Metal Fabrication, p.11-17, Jan. 1996.
- MARYA, S. Theoretical and experimental assessment of chloride effects in the A-TIG welding of magnesium. International Institute of Welding Document, Copenhagen, Denmark, 13p. 2002.
- MIDDEL, W. and DEN OUDEN, G. The Effect of Additives on Arc Characteristics in GTA Welding. In: TRENDS IN WELDING RESEARCH, PROCEEDINGS OF THE 5TH INTERNATIONAL CONFERENCE. Pine Mountain, Georgia, USA, jun.1998, p.394-399.
- MODENESI, P. J., Soldabilidade dos Aços Inoxidáveis. São Paulo, SENAI-SP. p. 21-48. 2001
- PASKELL, T., LUNDIN, C. & CASTNER, H., GTAW flux increases weld joint penetration. Welding Journal, v.76, n.4, p.57-62, 1997.
- PERRY, N., MARYA, S, and SOUTIF, E. Study and development of flux enhanced GTA penetrations in a commercial grade titanium. In: TRENDS IN WELDING RESEARCH, PROCEEDINGS OF THE 5TH INTERNATIONAL CONFERENCE, Pine Mountain, Georgia, USA, jun.1998, p.520-525.
- RICHETTI, A., FERRARESI, V. A. Aplicação de fluxo ativo na soldagem TIG e Plasma. In.: III COBEF Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, Joinville, SC, Anais do II COBEF, 10p. 2005.